

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 8 月 25 日 (25.08.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
**WO 2005/078748 A1**

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: **H01F 10/16**, 10/32, 41/22,  
H01L 27/105, 43/08, 43/10, G11B 5/39

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002185

(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 8 日 (08.02.2005)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2004-037514 2004 年 2 月 13 日 (13.02.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立  
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND  
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県  
川口市本町 4 - 1 - 8 Saitama (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 貝沼 亮介  
(KAINUMA, Ryosuke) [JP/JP]; 〒9811231 宮城県名取  
市手倉田字堰根 1 7 2 - 1 5 Miyagi (JP). 猪俣 浩一  
郎 (INOMATA, Koichiro) [JP/JP]; 〒9893122 宮城県仙

台市青葉区栗生 1 - 7 - 1 2 Miyagi (JP). 石田 清仁  
(ISHIDA, Kiyohito) [JP/JP]; 〒9800011 宮城県仙台市  
青葉区上杉 3 - 5 - 2 0 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 平山 一幸 (HIRAYAMA, Kazuyuki); 〒  
1600022 東京都新宿区新宿 2 - 3 - 1 0 新宿御苑  
ビル 6 階 Tokyo (JP).

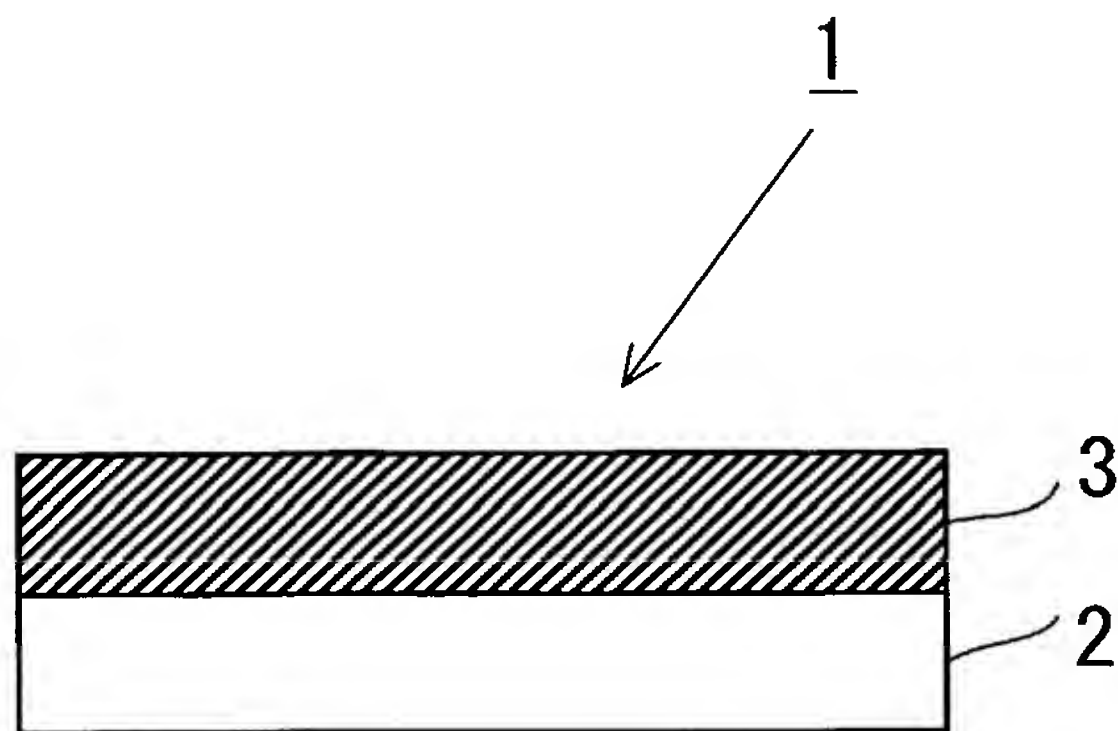
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,  
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護  
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,  
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,  
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,  
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC THIN FILM AND UTILIZING THE SAME, MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT AND MAGNETIC DEVICE

(54) 発明の名称: 磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイス



field.

(57) Abstract: A magnetic thin film exhibiting a high spin polarization ratio; and utilizing the same, a magnetoresistive effect element and a magnetic device. There is provided a magnetic thin film comprising substrate (2) and, superimposed thereon, thin film (3) of  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ , the thin film (3) having a  $\text{L}2_1$  or B2 monophase structure, wherein the M represents one or two or more members selected from among Ti, V, Mo, W, Cr, Mn and Fe and wherein the average valence electron concentration of M, referred to as Z, satisfies the relationship  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  while x satisfies the relationship  $0 \leq x \leq 0.7$ . This magnetic thin film at room temperature can exhibit ferromagnetism and high spin polarization ratio. Buffer layer (4) may be interposed between the substrate (2) and the thin film (3) of  $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}\text{Al}$ . A giant magnetoresistive effect element and tunnel magnetoresistive effect element utilizing this magnetic thin film at room temperature can exhibit large TMR and GMR in low magnetic

(57) 要約: スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスで、基板 (2) と基板 (2) 上に形成される  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜 (3) とを備え、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜 (3) は  $\text{L}2_1$  または B2 単相構造を有し、薄膜の M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$  であると、室温において、強磁性を示し大きなスピン分極率が得られる。基板 (2) と  $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}\text{Al}$  薄膜 (3) との間にはバッファ層 (4) が挿入されてもよい。この磁性薄膜を用いたトンネル磁気抵抗効果素子及び巨大磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きな TMR と GMR が得られる。

WO 2005/078748 A1



添付公開書類：  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイス

## 技術分野

本発明は、スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスに関する。

## 背景技術

近年、強磁性層／非磁性金属層の多層膜からなる巨大磁気抵抗（GMR）効果素子、及び強磁性層／絶縁体層／強磁性層からなるトンネル磁気抵抗効果素子や強磁性スピントンネル接合（MTJ）素子が、新しい磁界センサーや不揮発性ランダムアクセス磁気メモリ（MRAM）素子として注目されている。

巨大磁気抵抗効果素子には、膜面内に電流を流すタイプのCIP（Current In Plane）構造の巨大磁気抵抗効果素子と、膜面垂直方向に電流を流すタイプのCPP（Current Perpendicular to the Plane）構造の巨大磁気抵抗効果素子が知られている。巨大磁気抵抗効果素子の原理は磁性層と非磁性層の界面におけるスピン依存散乱にあり、一般に、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子の方がCIP構造の巨大磁気抵抗効果素子よりもGMRが大きい。

このような巨大磁気抵抗効果素子は、強磁性層の一方に反強磁性層を近接させて強磁性層のスピンを固定させるスピバルブ型が用いられている。CPP構造のスピバルブ型巨大磁気抵抗効果素子の場合、反強磁性層の電気抵抗率が $200\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 程度とGMR膜に比べて2桁程度大きいため、GMR効果が薄められ、スピバルブ型のCPP構造の巨大磁気抵抗効果素子の磁気抵抗の値は1%以下と小さい。そのため、CIP構造の巨大磁気抵抗効果素子はすでにハードディスクの再生ヘッドに実用化されているものの、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子はまだ実用にいたっていない。

一方、トンネル磁気抵抗効果素子やMTJでは、外部磁界によって2つの強磁性層の磁化を互いに平行あるいは反平行に制御することにより、膜面垂直方向の

トンネル電流の大きさが互いに異なる、いわゆるトンネル磁気抵抗 (TMR) 効果が室温で得られる (下記文献 1 参照)。この TMR は、用いる強磁性体と絶縁体との界面におけるスピン分極率  $P$  に依存し、二つの強磁性体のスピン分極率をそれぞれ  $P_1$ ,  $P_2$  とすると、一般に下記 (1) 式で与えられることが知られている。

$$\text{TMR} = 2 P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2) \quad (1)$$

ここで、強磁性体のスピン分極率  $P$  は  $0 < P \leq 1$  の値をとる。

現在、得られている室温における最大の TMR は  $P \sim 0.5$  の CoFe 合金を用いた場合の約 50 パーセントである。TMR 素子は現在、ハードディスク用磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセス磁気メモリ (MRAM) への応用が期待されている。MRAM では、MTJ 素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して磁界を印加することで、各 MTJ 素子を構成する二つの磁性層を互いに平行、反平行に制御することにより、“1”, “0” を記録させる。読み出しは、TMR 効果を利用して行う。しかし、MRAM では高密度化のために素子サイズを小さくすると、素子のバラツキに伴うノイズが増大し、TMR の値が現状では不足するという問題がある。したがって、より大きな TMR を示す素子の開発が必要である。

上記 (1) 式からわかるように、 $P = 1$  の磁性体を用いると無限に大きな TMR が期待される。 $P = 1$  の磁性体はハーフメタルと呼ばれる。これまで、バンド構造計算によって、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CrO}_2$ ,  $(\text{La}-\text{Sr})\text{MnO}_3$ ,  $\text{Th}_2\text{MnO}_7$ ,  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$  などの酸化物、 $\text{NiMnSb}$  などのハーフホイスラー合金、及び  $\text{Co}_2\text{MnGe}$ ,  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ ,  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  などの  $L2_1$  構造をもつフルホイスラー合金などがハーフメタルとして知られている。例えば、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$  などの従来の  $L2_1$  構造を有するフルホイスラー合金は基板を  $300^\circ\text{C}$  程度に加熱し、さらに、その膜厚を通常  $25\text{ nm}$  以上にして作製できることが報告されている (下記文献 2 参照)。

最近、ハーフメタルの  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  の構成元素である Cr の一部を Fe で置換した  $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$  も、バンド構造の理論計算によれば、 $L2_1$  型のハーフメタルであることが報告された (下記文献 3 参照)。また、その薄膜

を用いたトンネル接合が作製され、室温で16%程度のTMRが報告されている（下記文献4参照）。ホイスラー化合物の磁化特性やハーフメタル特性において、構成元素の総価電子Zによりそれらの特性をまとめられることも報告された（下記文献5）。

文献1： T. Miyazaki and N. Tezuka, "Spin polarized tunneling in ferromagnet/insulator/ferromagnet junctions", 1995, J. Magn. Magn. Mater., L39, p. 1231

文献2： T. Ambrose, J. J. Crebs and G. A. Prinz, "Magnetic properties of single crystal  $C_2MnGe$  Heusler alloy films", 2000, Appl. Phys. Lett., Vol. 87, p. 5463

文献3： T. Block, C. Felser, and J. Windeln, "Spin Polarized Tunneling at Room Temperature in a Heusler Compound—a non-oxide Materials with a Large Negative Magnetoresistance Effect in Low Magnetic Fields", April 28, 2002, Intermag Digest, EE01

文献4： K. Inomata, S. Okamura, R. Goto and N. Tezuka, "Large tunneling magnetoresistance at room temperature using a Heusler alloy with B2 structure", 2003, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, PL419

文献5： I. Galanakis and P. H. Dederichs, "Slater-Pauling behavior and origin of the half-metallicity of the full-Heusler alloys", 2002, The American Physical Society, PHYSICAL REVIEW B, Vol. 66, pp. 174429-1-174429-9

従来のハードディスクの再生ヘッドに実用化されているCIP構造の巨大磁気抵抗効果素子においては、高記録密度に向け微細化が進められているが、素子の微細化に伴い信号電圧の不足が予測されており、CIP構造の巨大磁気抵抗効果素子の代わりにCPP構造の巨大磁気抵抗効果素子の高性能化が要求されているが、未だ実現されていない。

上記のハーフメタルの $Co_2CrAl$ を除き、ハーフメタル薄膜が作製されているが、基板を300℃以上に加熱するか、または室温で成膜後300℃以上の温度で熱処理することが必要である。しかし、これまでに作製された薄膜がハー



フメタルであったという報告はない。そして、これらのハーフメタルを用いたトンネル接合素子の作製も一部試みられているが、いずれも室温のTMRは期待に反して小さく、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ を用いた場合の精々10数%が最大であった。

このように、従来のハーフメタル薄膜はその構造を得るために基板加熱や熱処理を必要としており、それによって表面のラフネスが増大したり、または酸化したりすることも大きなTMRが得られない原因の一つと考えられている。

一方、薄膜ではバルク材料と異なり、表面においてはハーフメタル特性を示さない可能性があること、また、ハーフメタル特性は組成や原子配列の規則度に敏感であり、特にトンネル接合では、その界面においてハーフメタルの電子状態を得るのが困難であることも、大きなTMRが得られない原因と推定される。

以上のことから、ハーフメタル薄膜の作製が実際には非常に困難で、各種の磁気抵抗効果素子に使用できる良好なハーフメタル薄膜が得られていないという課題がある。

バンド構造の理論計算でハーフメタルであることが予測されている、 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$ 薄膜及びこの薄膜を用いたトンネル接合が作製され、TMRが得られている。しかしながら、 $x=0$ である $\text{Co}_2\text{CrAl}$ 側では、B2構造の $\text{CoAl}$ 化合物が極めて安定なために、B2構造である $\text{CoAl}$ とA2構造である $\text{CoCr}$ との2相分離が生じやすく、ハーフメタル特性が期待される $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.4}\text{Cr}_{0.6}\text{Al}$ 薄膜のような単一相の合金が得られにくいという課題がある。

#### 発明の開示

本発明は、上記課題に鑑み、スピン分極率の大きい磁性薄膜及びそれを用いた磁気抵抗効果素子並びに磁気デバイスを提供することを目的としている。

本発明者らは、GaはAlと等しい価電子を有する元素であり、 $\text{CoGa}$ は、 $\text{CoAl}$ ほど安定ではないことを考慮して、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ 薄膜を作製した結果、この膜は室温で強磁性であり、かつ、基板を無加熱、または $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で成膜したり、さらにこの薄膜を $500^\circ\text{C}$ 以下の温度で熱処理することにより、L2<sub>1</sub>またはB2単相構造を作製できることを見出し、本発明を完成

するに至った。

上記目的を達成するため、本発明の磁性薄膜は、基板と基板上に形成される  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜とを備え、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜は  $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有し、薄膜の  $M$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$  であることを特徴とする。

基板は、無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱されて前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が成膜されているか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で熱処理されたものであってもよい。上記基板は、熱酸化  $\text{Si}$ , ガラス,  $\text{MgO}$  単結晶,  $\text{GaAs}$  単結晶,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであればよい。基板と  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜との間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層としては、 $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{NiFe}$  のうちの少なくとも一つを用いることができる。

この構成によれば、室温において、強磁性であり、スピン分極率の大きいハーフメタルである  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜 (以下、適宜  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜または単に  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜と呼ぶ) を得ることができる。

本発明のトンネル磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の1種または2種以上からなり、 $M$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、強磁性層は、固定層とフリー層とで成り、フリー層は  $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜である。前記基板は、無加熱を含む  $500^\circ\text{C}$  以下の温度で加熱されて  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜をさらに  $500^\circ\text{C}$  以下

の温度で熱処理すればよい。基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶の何れか一つであればよい。基板とCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>薄膜との間にバッファ層が配設されていてもよい。このバッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成されることができる。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRの大きいトンネル磁気抵抗効果素子を得ることができる。

本発明の巨大磁気抵抗効果素子は、基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、L2<sub>1</sub>またはB2单相構造を有するCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする。

前記強磁性層は、固定層とフリー層とで成り、フリー層がL2<sub>1</sub>またはB2单相構造を有するCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜でなることが好ましい。上記基板は、無加熱を含む500℃以下の温度で加熱されることでCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに500℃以下の温度で熱処理されていてもよい。基板とCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>薄膜との間にバッファ層を配設するようにしてもよい。基板としては、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶の何れか一つであればよい。バッファ層は、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つで構成することができる。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でGMRの大きい巨大磁気抵抗効果素子を得ることができる。

本発明の磁気デバイスは、L2<sub>1</sub>またはB2单相構造を有するCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。この場合、フリー層が上記Co<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（0 ≤ x ≤ 0.7）磁性薄膜か



ら成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

好ましくは、トンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子は、その基板が無加熱を含む  $500^{\circ}\text{C}$  以下の温度で加熱されて  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに  $500^{\circ}\text{C}$  以下の温度で熱処理して作製されている。基板と  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間に、バッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。前記基板が、熱酸化  $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$  単結晶、 $\text{GaAs}$  単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いることができる。バッファ層として、 $\text{Al}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{NiFe}$  のうちの少なくとも一つを用いたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いればよい。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界で TMR や GMR の大きい磁気抵抗効果素子を用いた磁気デバイスを得ることができる。

また、本発明の磁気ヘッド及び磁気記録装置は、 $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$  は  $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $M$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、フリー層が前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜であるトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いる。基板は、無加熱を含む  $500^{\circ}\text{C}$  以下の温度で加熱されて  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が成膜されるか、またはこの成膜した薄膜がさらに  $500^{\circ}\text{C}$  以下の温度で熱処理して作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。基板と  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。基板が、熱酸化  $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$  単結晶、 $\text{GaAs}$  単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いることもできる。バッファ層が、 $\text{Al}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{F}$

e, Nb, Ni, Ta, NiFeのうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いてもよい。

上記構成によれば、室温において、低外部磁界でTMRやGMRの大きい磁気抵抗効果素子を用いることで、大容量、かつ、高速な磁気ヘッド及び磁気記録装置を得ることができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の断面図である。

図2は、上記第1の実施形態による磁性薄膜の変形例の断面図である。

図3は、上記第1の実施形態による磁性薄膜に用いる $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ の構造を模式的に説明する図である。

図4は、本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。

図5は、上記第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

図6は、上記第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

図7は、本発明に係る第3の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。

図8は、上記第3の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。

図9は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に外部磁界を印加したときの抵抗を模式的に説明する図である。

図10は、実施例1で製作した $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金の $[01-1]$ 入射の電子線回折を示す図である。

図11は、実施例2のトンネル磁気抵抗効果素子の抵抗の磁場依存性を示す図である。

図12は、実施例3のトンネル磁気抵抗効果素子の抵抗の磁場依存性を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

本発明は、以下の詳細な発明及び本発明の幾つかの実施の形態を示す添付図面に基づいて、より良く理解されるものとなろう。なお、添付図面に示す種々の実施例は本発明を特定または限定することを意図するものではなく、単に本発明の説明及び理解を容易とするためだけのものである。

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

始めに本発明の磁性薄膜の第1の実施形態を示す。

図1は、本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の断面図である。図1に示すように、本発明の磁性薄膜1は、基板2上に、室温において $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3を配設している。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3において、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ $0 \leq x \leq 0.7$ である。ただし、上記Mの元素の価電子濃度Zは、上記元素のTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feのそれぞれにおいて、 $Z_{\text{Ti}} = 4$ ,  $Z_{\text{V}} = 5$ ,  $Z_{\text{Cr}} = Z_{\text{Mo}} = Z_{\text{W}} = 6$ ,  $Z_{\text{Mn}} = 7$ ,  $Z_{\text{Fe}} = 8$ と定義する。MがCr, Mo, Wの場合には、平均価電子濃度Zが6であり、上記の $5.5 \leq Z \leq 7.5$ を満足する。

Mが2種からなる場合の平均価電子濃度Zについて説明する。その組成が、 $M = M_1{}_a M_2{}_{1-a}$ とする。 $M_1$ ,  $M_2$ は、上記の金属Mから選ばれる金属であり、その組成としては、 $M_1$ がaであり、 $M_2$ が $1-a$ である。 $M_1$ ,  $M_2$ の価電子濃度Zをそれぞれ、 $Z_{M1}$ ,  $Z_{M2}$ とする。この $M_1{}_a M_2{}_{1-a}$ の平均価電子濃度Zは、 $Z = a \times Z_{M1} + (1-a) \times Z_{M2}$ で計算でき、このZを $5.5 \leq Z \leq 7.5$ となるように、Mの組成を決めればよい。

Mが2種以上からなる場合にも、その組成と価電子濃度Zから、同様にして平均価電子濃度Zを、 $5.5 \leq Z \leq 7.5$ を満足するようにMの選定をすればよい。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3は、室温で強磁性であり、電気抵抗率が $200 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 程度であり、かつ基板を加熱することなくL2<sub>1</sub>またはB2単相構造を有している。基板2上の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3の膜厚は1nm以上1

$\mu\text{m}$ 以下であればよい。

図2は本発明に係る第1の実施形態による磁性薄膜の変形例の断面図である。図2に示すように、本発明の磁性薄膜5は、図1の磁性薄膜1の構造において、さらに、基板2と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3との間にバッファ層4が挿入されている。バッファ層4を挿入することで、基板1上の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、 $0 \leq x \leq 1$ ）薄膜3の結晶性をさらによくすることができる。

上記磁性薄膜1, 5に用いる基板2は、熱酸化Si、ガラスなどの多結晶、MgO、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、GaAsなどの単結晶を用いることができる。バッファ層4としては、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFeなどを用いることができる。

上記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3の膜厚は、1nm以上で $1\mu\text{m}$ 以下であればよい。この膜厚が1nm未満では、実質的に後述するL2<sub>1</sub>またはB2単相構造を得るのが困難になり、この膜厚が $1\mu\text{m}$ を超えるとスピndeバイスとしての応用が困難になり好ましくない。

次に、上記構成の第1の実施形態に用いる磁性薄膜の作用を説明する。

図3は、本発明の第1の実施形態の磁性薄膜に用いる $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）の構造を模式的に説明する図である。図に示す構造は、bcc（体心立方格子）の慣用的単位胞の8倍（格子定数で2倍）の構造を示している。

$\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ のL2<sub>1</sub>構造においては、図3のIの位置にM（ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなる）がその平均価電子濃度Zを $5.5 \leq Z \leq 7.5$ とする組成となるように配

置され、IIの位置にGaとAlとが組成比として $Ga_{1-x}Al_x$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ )となるように配置され、IIIとIVの位置にCoが配置される。

$Co_2MGa_{1-x}Al_x$ のB2単相構造においては、図3のIの位置及びIIの位置に、M（ここでは、Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなる）とGaとAlとが不規則に配列され、III及びIVの位置にCoが配置される。この際、MとFeとCrとの組成比は、 $M_1Ga_{1-x}Al_x$ （ここで、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）となるように配置される。

次に、上記構成の第1の実施形態に用いる磁性薄膜1, 5の磁氣的性質を説明する。上記構成の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3は、室温で強磁性であり、かつ、基板を加熱することなくL2<sub>1</sub>またはB2単相構造の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ 薄膜が得られる。

さらに、上記構成の $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3は、膜厚が数nm程度の非常に薄い膜においても、L2<sub>1</sub>またはB2単相構造が得られる。 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜のB2構造は、L2<sub>1</sub>構造と類似しているが、異なるのはL2<sub>1</sub>構造では、上記MとGa（Al）原子が規則的に配置しているのに対し、B2構造は、不規則に配列していることである。これらの違いはX線回折や電子線回折で測定することができる。

上記 $Co_2MGa_{1-x}Al_x$ 薄膜3において、Mの平均価電子濃度Zを、 $5.5 \leq M \leq 7.5$ とした理由について説明する。Zが5.5より小さいと、薄膜のキュリー温度が100℃を下回り、室温で大きなTMRが得られなくなる。一方、Zが7.5を越えると、薄膜のハーフメタル特性が消滅し、例えば、CPP構造の巨大磁気抵抗効果素子及びトンネル磁気抵抗効果素子において、大きなGM RやTMRが得られないからである。



次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第2の実施形態を示す。

図4は本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。図4はトンネル磁気抵抗効果素子の場合を示している。この図に示すように、トンネル磁気抵抗効果素子10は、例えば、基板2上に $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、トンネル層となる絶縁層11, 強磁性層12, 反強磁性層13が順次積層された構造を有している。反強磁性層13は、強磁性層12のスピンを固着させる、所謂、スピンバブル型の構造のために用いている。この構造においては、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3をフリー層、強磁性層12をピン層と呼ぶ。また、強磁性層12は、単層構造と複数の層構造のいずれでもよい。絶縁層11には $\text{Al}_2\text{O}_3$ やAlの酸化物である $\text{AlO}_x$ を、強磁性層12にはCoFe, NiFe、あるいは、CoFeとNiFeとの複合膜などを、反強磁性層13にはIrMnなどを用いることができる。

さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10の反強磁性層13の上には、さらに保護膜となる非磁性の電極層14を堆積させることが好ましい。

図5は、本発明に係る第2の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子15は、基板2上にバッファ層4と $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、トンネル層となる絶縁層11と、強磁性層12と、反強磁性層13と、保護膜となる非磁性の電極層14が順次積層された構造を有している。図5が図4の構造と異なるのは、図4の構造に、

バッファ層 4 が配設された点である。他の構造は図 4 と同じである。

図 6 は、本発明に係る第 2 の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子 20 は、基板 2 上にバッファ層 4 と  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 が配設され、トンネル層となる絶縁層 11 と、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 16 と、反強磁性層 13 と、保護膜となる非磁性の電極層 14 が順次積層された構造を有している。図 6 が図 5 の構造と異なるのは、図 4 のピン層となる強磁性層 12 も、本発明の磁性薄膜である  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 16 を用いた点である。他の構造は図 5 と同じである。

トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に電圧を加える場合は、 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜 3 またはバッファ層 4 と電極層 14 との間に印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 14 への電流の流し方は、膜面垂直方向に電流を流す CPP 構造とすることができる。

ここで、上記トンネル磁気抵抗効果素子 10, 15, 20 に用いる基板 2 は、熱酸化 Si、ガラスなどの多結晶、MgO、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、GaAs などの単結晶であってよい。バッファ層 4 として、Al, Cu, Cr, Fe, Nb, Ni, Ta, NiFe などを用いることができる。上記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、M は Ti, V, Mo, W, Cr, Mn, Fe の中の 1 種又は 2 種以上からな

り、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ で、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜3の膜厚は1 nm以上で1  $\mu$ m以下であればよい。この膜厚が1 nm未満では実質的にL2, またはB2単相構造を得るのが困難になり、この膜厚が1  $\mu$ mを超えるとトンネル磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。上記構成の本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10, 15, 20は、スパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

つぎに、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子10及び15の動作について説明する。

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子10, 15は、二つの強磁性層3, 12を用い、一方には反強磁性層13が近接し、近接した強磁性層12(ピン層)のスピンを固着させるスピバルブ型を用いているので、外部磁界が印加されたときには、他方のフリー層となる強磁性層 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜3のスピンのみが反転される。したがって、スピバルブ効果により強磁性層12の磁化は、反強磁性層13との交換相互作用によってスピが1方向に固定されるので、フリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜3のスピンの平行、反平行が容易に得られる。この際、フリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ (ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜3の磁化が小さいため、反磁界が小さくそれだけ小さな磁界で磁化反転を起こすことができる。これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子10, 15は、MRAMなど低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効

果素子の20の動作について説明する。

トンネル磁気抵抗効果素子20は、さらに、ピン層の強磁性層16もフリー層である強磁性の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3と同じ $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）を用いているので、上記(1)式の分母がより小さくなり、さらに、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子のTMRは大きくなる。これにより、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子20は、MRAMなど低電力での磁化反転を必要とする磁気デバイスに好適である。

次に、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に係る第3の実施形態を示す。

図7は、本発明に係る第3の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の断面を示す図である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果素子の場合を示している。図に示すように、巨大磁気抵抗効果素子30は、基板2上に、バッファ層4と強磁性体となる本発明の $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3が配設され、非磁性金属層21と強磁性層22と保護膜となる非磁性の電極層14とが順次積層された構造を有している。

ここで、巨大磁気抵抗効果素子のバッファ層4と電極層14との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層4から電極層14への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプであるCIP構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプであるCPP構造とすることができる。

図8は、本発明に係る第3の実施形態による磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の変形例の断面を示す図である。本発明の巨大磁気抵抗効果素子35が、図7



の巨大磁気抵抗効果素子 3 0 と異なるのは、強磁性層 2 2 と電極層 1 4 との間に反強磁性層 1 3 を設けスピバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子とした点である。他の構造は、図 7 と同じであるので説明は省略する。反強磁性層 1 3 は、近接したピン層となる強磁性層 2 2 のスピンを固着させる働きをする。巨大磁気抵抗効果素子 3 0, 3 5 のバッファ層 4 と電極層 1 4 との間に電圧が印加される。また、外部磁界は、膜面内に平行に印加される。バッファ層 4 から電極層 1 4 への電流の流し方は、膜面内に電流を流すタイプである C I P 構造と、膜面垂直方向に電流を流すタイプである C P P 構造とすることができる。

上記巨大磁気抵抗効果素子 3 0, 3 5 の基板 2 は、熱酸化 S i、ガラスなどの多結晶、さらに、M g O, A l<sub>2</sub> O<sub>3</sub>, G a A s などの単結晶を用いることができる。バッファ層 4 として、A l, C u, C r, F e, N b, N i, T a, N i F e などを用いることができる。非磁性金属層 2 1 としては、C u, A l などを用いることができる。強磁性層 2 2 としては、C o F e, N i F e, C o<sub>2</sub> M G a<sub>1-x</sub> A l<sub>x</sub> (ここで、M は T i, V, M o, W, C r, M n, F e の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜などの何れか一つか、またはこれらの材料からなる複合膜を用いることができる。反強磁性層 1 3 には I r M n などを用いることができる。

上記 C o<sub>2</sub> M G a<sub>1-x</sub> A l<sub>x</sub> (ここで、M は T i, V, M o, W, C r, M n, F e の中の 1 種または 2 種以上からなり、M 中の平均価電子濃度 Z が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜 3 の膜厚は、1 n m 以上で 1  $\mu$  m 以下であればよい。この膜厚が 1 n m 未満では実質的に L 2<sub>1</sub> または B 2 単相構造を得るのが困難になり、そして、この膜厚が 1  $\mu$  m を超えると巨大磁気抵抗効果素子としての応用が困難になり好ましくない。

上記構成の本発明の巨大磁気抵抗効果素子 3 0, 3 5 は、スパッタ法、蒸着法、レーザアブレーション法、M B E 法などの通常の薄膜成膜法と、所定の形状の電極などを形成するためのマスク工程などを用いて製造することができる。

本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である巨大磁気抵抗効果素子 3 0 の強磁性層である C o<sub>2</sub> M G a<sub>1-x</sub> A l<sub>x</sub> (ここで、M は T i, V, M o, W,



Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7) 薄膜3は、ハーフメタルであることからスピン分極率が大きい。このため、外部磁界が印加されたときに伝導に寄与するのは、この薄膜3の一方のスピンのみである。したがって、巨大磁気抵抗効果素子30によれば、非常に大きな磁気抵抗、即ち、GMRが得られる。

次に、磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子35の場合には、ピン層である強磁性層22のスピンは反強磁性層13により固定されており、外部磁界を印加することで、フリー層であるCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7) 薄膜3のスピンが外部磁界により平行と反平行の状態になる。そして、伝導に寄与するのはハーフメタルであるCo<sub>2</sub>MGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>（ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが5.5 ≤ Z ≤ 7.5であり、かつ、0 ≤ x ≤ 0.7) 薄膜3の一方のスピンだけであるので、非常に大きなGMRが得られる。

次に、本発明の磁性薄膜による磁気抵抗効果素子を用いた磁気装置に係る第4の実施形態を示す。

図1～図8に示すように、本発明の磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界でTMRまたはGMRが非常に大きくなる。

図9は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子であるトンネル磁気抵抗効果素子や巨大磁気抵抗効果素子に外部磁界を印加したときの抵抗を模式的に説明する図である。図の横軸は、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子に印加される外部磁界で、縦軸が抵抗である。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果を得るための必要な電圧が、十分に印加されている。

図示するように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子の抵抗は、外部

磁界により大きな変化を示す。外部磁界を領域（I）より印加し、外部磁界を減少させ、零として、さらに外部磁界を反転して増大させると、領域（II）から領域（III）において最小の抵抗から最大の抵抗に変化する。ここで、領域（II）の外部磁界を $H_1$ とする。

さらに、外部磁界を増加させると、領域（III）から領域（IV）を経て領域（V）までの抵抗変化が得られる。これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、領域（I）と、領域（V）の外部磁界において、強磁性層22とフリー層である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ （ここで、MはTi, V, Mo, W, Cr, Mn, Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ）薄膜3とのスピンの平行となり、最小の抵抗となる。そして、領域（III）では上記スピンの反平行の状態となり、最大の抵抗となる。 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜3は、例えば $\text{Co}_2\text{FeCrGa}$ を用いることができる。

磁気抵抗変化率は、外部磁界を印加したとき、下記（2）式で表され、この値が大きいほど磁気抵抗変化率としては望ましい。

$$\text{磁気抵抗変化率} = (\text{最大の抵抗} - \text{最小の抵抗}) / \text{最小の抵抗} (\%) \quad (2)$$

これにより、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、図9に示すように、磁界が零から $H_1$ より極く僅かに大きい磁界、即ち低い磁界を加えることで、大きな磁気抵抗変化率が得られる。

図9で説明したように、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、磁気抵抗センサとして用いれば、感度の高い磁気素子を得ることができる。本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、室温において、低磁界で大きなTMRまたはGMRを示すので、感度の高い読み出し用の磁気ヘッド及びこれらの磁気ヘッドを用いた各種の磁気記録装置を構成することができる。また、本発明の磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子である、例えば、MTJ素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して外部磁界を印加する。このMTJ素子を構成するフリー層の強磁性体の磁化を、外部磁界により互いに平行と反平行に制御することにより、“1”、“0”を記録させる。さらに、読み出しはTMR効果を利用して行

うことなどにより、MRAMなどの磁気装置を構成することができる。また、本発明の磁気抵抗効果素子であるCPP構造のGMR素子においては、GMRが大きいので、ハードディスク駆動装置（HDD）やMRAMなどの磁気装置の大容量化ができる。

### 実施例 1

以下、本発明の実施例について説明する。

本発明の磁性薄膜である $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$ として、MをCrとして組成xを0とした $\text{Co}_2\text{CrGa}$ を製作した。この場合、Mの平均価電子濃度Zは、6である。

最初に、本発明の磁性薄膜の材料となる $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金の製作について説明する。高純度のCoとCrとGaをそれぞれ25%、25%、50%の組成比で、アーク溶解装置に投入し、1100℃で24時間の溶解を行い、氷水焼入れをして $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金を製作した。

図10は、実施例1で製作した $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金の[01-1]入射の電子線回折を示す図である。電子ビームの加速電圧は200kVであり、図中の数字は、それぞれ、(200)，(111)，(022)面などからの回折を示している。図から明らかなように、(200)，(111)面からの両規則反射が共に出現し、本合金がL2<sub>1</sub>のホイスラー構造であることが分かった。なお、本合金が不規則体心立方晶であれば、図中に示す(200)，(111)面からの回折は2種類とも出現しない。また、B2構造であれば(200)面からの回折のみが出現し、(111)面からの回折は存在しない。

上記 $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 合金をターゲットとして用いた高周波スパッタ装置により、熱酸化Si基板2またはSi基板2にバッファ層4としてTa薄膜を積層した基板2上に、 $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 薄膜を基板温度を変えて作製した。基板温度が500℃以下で、このようにして製作した $\text{Co}_2\text{CrGa}$ 磁性薄膜3の構造はL2<sub>1</sub>またはB2構造であった。

### 実施例 2

図5に示すスピバルブ型のトンネル磁気抵抗効果素子15を室温で作製した。熱酸化Si基板2上に、マグネトロンスパッタ装置とメタルマスクを用いて、Taをバッファ層4として、Ta(10nm)/Co<sub>2</sub>CrGa(300nm)/AlO<sub>x</sub>(1.6nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5nm)/NiFe(2nm)/IrMn(20nm)/Ta(10nm)を順に積層して、トンネル磁気抵抗効果素子15を製作した。括弧内の数字はそれぞれの膜厚である。Taはバッファ層4、Co<sub>2</sub>CrGa薄膜3は強磁性のフリー層、AlO<sub>x</sub>はトンネル絶縁層11、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>及びNiFeは強磁性層12のピン層で複合膜からなる強磁性体、IrMnは反強磁性層13であり、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>/NiFeの強磁性層12のスピンを固定する役割をしている。そして、反強磁性層13であるIrMn上のTaは、保護膜14である。

上記のトンネル絶縁膜であるAlO<sub>x</sub>以外の各層成膜時におけるマグネトロンの高周波電力は100Wであり、AlO<sub>x</sub>のプラズマ酸化による成膜時の高周波電力は40Wであった。放電用Arガス圧力は1.8Paであった。基板温度は400℃であり、この場合のCo<sub>2</sub>CrGa薄膜3は、L2<sub>1</sub>構造であった。なお、成膜時に100Oeの磁界を印加して膜面内に一軸異方性を導入した。

この膜厚が300nmのCo<sub>2</sub>CrGa磁性薄膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子15に外部磁界を印加して、室温で磁気抵抗を測定した。図11は、実施例2のトンネル磁気抵抗効果素子15の抵抗の磁場依存性を示す図である。図の横軸は外部磁界H(Oe)であり、縦軸は抵抗(Ω)である。磁気抵抗は、外部磁界をスイープして、そのヒステリシス特性も測定している。これから、TMRは2.6%と求まった。

### 実施例3

Co<sub>2</sub>CrGa薄膜3を用い、その膜厚を100nmとした以外は、実施例2と同様のスピバルブ型トンネル磁気抵抗効果素子15を作製した。このトンネル磁気抵抗効果素子15に外部磁界を印加して室温で磁気抵抗を測定した。図12は、実施例3のトンネル磁気抵抗効果素子15の抵抗の磁場依存性を示す図である。図の横軸は外部磁界H(Oe)であり、縦軸は抵抗(Ω)である。磁気抵

抗は、外部磁界をスイープして、そのヒステリシス特性も測定している。これから、TMRは3.2%と求まった。

実施例2及び実施例3では、TMR曲線にプラトーが見られず、スピンの完全な反平行状態が実現していない。トンネル磁気抵抗効果素子15の作製条件を最適化することにより、TMRを飛躍的に大きくできることが期待される。

#### 産業上の利用可能性

本発明によれば、 $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜は、室温において、加熱せずに作製することができる。さらに、強磁性特性を示し、スピン分極率が大きい。

また、本発明の $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜を用いた巨大磁気抵抗効果素子によれば、室温において、低外部磁界で非常に大きなGMRを得ることができる。また、トンネル磁気抵抗効果素子によっても、同様に、非常に大きなTMRを得ることができる。

さらに、本発明の $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $Co_2MGa_{1-x}Al_x$  (ここで、 $M$ は $Ti$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cr$ ,  $Mn$ ,  $Fe$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜を用いた各種の磁気抵抗効果素子を、超ギガビット大容量と高速の磁気ヘッドや不揮発性で高速動作するMRAMをはじめ種々の磁気装置へ応用することにより、新規な磁気装置が実現できる。この場合、飽和磁化が小さいためスピン注入による磁化反転磁場が小さくなり、低消費電力で磁化反転を実現できるほか、半導体への効率的なスピン注入が可能になり、スピンFETが開発される可能性があるなど、広くスピントロニクス分野を拓くキー材料として利用することができる。



## 請 求 の 範 囲

1. 基板と該基板上に形成される  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜とを備え、  
上記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜は  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有し、  
上記薄膜の  $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、  
該  $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$  であることを特徴とする、磁性薄膜。
2. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁性薄膜。
3. 前記基板上に成膜した  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁性薄膜。
4. 前記基板が、熱酸化  $\text{Si}$ , ガラス,  $\text{MgO}$  単結晶,  $\text{GaAs}$  単結晶,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁性薄膜。
5. 前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  薄膜の間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の磁性薄膜。
6. 前記バッファ層が、 $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{NiFe}$  のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項 5 に記載の磁性薄膜。
7. 基板上に複数の強磁性層を有するトンネル磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $\text{M}$  中の平均価電子濃度  $Z$  が  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、トンネル磁気抵抗効果素子。
8. 前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層が  $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $\text{M}$  は  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$  の中の 1 種または 2 種以上からなり、 $\text{M}$  中の平均価電

子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

9. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

10. 前記基板上に成膜した $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

11. 前記基板が、熱酸化 $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$ 単結晶、 $\text{GaAs}$ 単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

12. 前記基板と前記 $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項7に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

13. 前記バッファ層が、 $\text{Al}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{NiFe}$ のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項12に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

14. 基板上に複数の強磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子において、少なくとも一方の強磁性層が、 $\text{L}2_1$  または  $\text{B}2$  単相構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成り、膜面垂直方向に電流が流れる構造としたことを特徴とする、巨大磁気抵抗効果素子。

15. 前記強磁性層が、固定層とフリー層とで成り、該フリー層が $\text{L}2_1$ 、 $\text{B}2$ 、 $\text{A}2$ 構造の何れか一つの構造を有する $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜でなることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

子。

16. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が成膜されることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

17. 前記基板上に成膜した  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が熱処理されることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

18. 前記基板が、熱酸化  $\text{Si}$ 、ガラス、 $\text{MgO}$  単結晶、 $\text{GaAs}$  単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  単結晶の何れか一つであることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

19. 前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されていることを特徴とする、請求項14に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

20. 前記バッファ層が、 $\text{Al}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{NiFe}$ のうちの少なくとも一つから成ることを特徴とする、請求項19に記載の巨大磁気抵抗効果素子。

21.  $L2_1$  または  $B2$  単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜が基板上に形成されてなることを特徴とする、磁気デバイス。

22. フリー層が前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、 $M$ は $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ の中の1種または2種以上からなり、 $M$ 中の平均価電子濃度 $Z$ が $5.5 \leq Z \leq 7.5$ であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子または巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

23. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で成膜された前記  $\text{Co}_2\text{MGa}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜により作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイ

ス。

24. 前記基板上に成膜した  $\text{Co}_2\text{Mga}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が熱処理されて作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

25. 前記基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

26. 前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{Mga}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項21に記載の磁気デバイス。

27. 前記バッファ層が、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を用いたことを特徴とする、請求項26に記載の磁気デバイス。

28.  $\text{L}_2$  又はB2単相構造を有する  $\text{Co}_2\text{Mga}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜が基板上に形成されてなる磁気ヘッドを用いたことを特徴とする、磁気記録装置。

29. フリー層が前記  $\text{Co}_2\text{Mga}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 磁性薄膜で成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

30. 前記基板が加熱され、この加熱された基板上で成膜された前記  $\text{Co}_2\text{Mga}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜により作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

31. 前記基板上に成膜した  $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  磁性薄膜が熱処理されて作製されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

32. 前記基板が、熱酸化Si、ガラス、MgO単結晶、GaAs単結晶、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶の何れか一つであるトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

33. 前記基板と前記  $\text{Co}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x$  (ここで、MはTi、V、Mo、W、Cr、Mn、Feの中の1種または2種以上からなり、M中の平均価電子濃度Zが  $5.5 \leq Z \leq 7.5$  であり、かつ、 $0 \leq x \leq 0.7$ ) 薄膜との間にバッファ層が配設されたトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項28に記載の磁気記録装置。

34. 前記バッファ層が、Al、Cu、Cr、Fe、Nb、Ni、Ta、NiFeのうちの少なくとも一つから成るトンネル磁気抵抗効果素子又は巨大磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いたことを特徴とする、請求項33に記載の磁気記録装置。



図 1

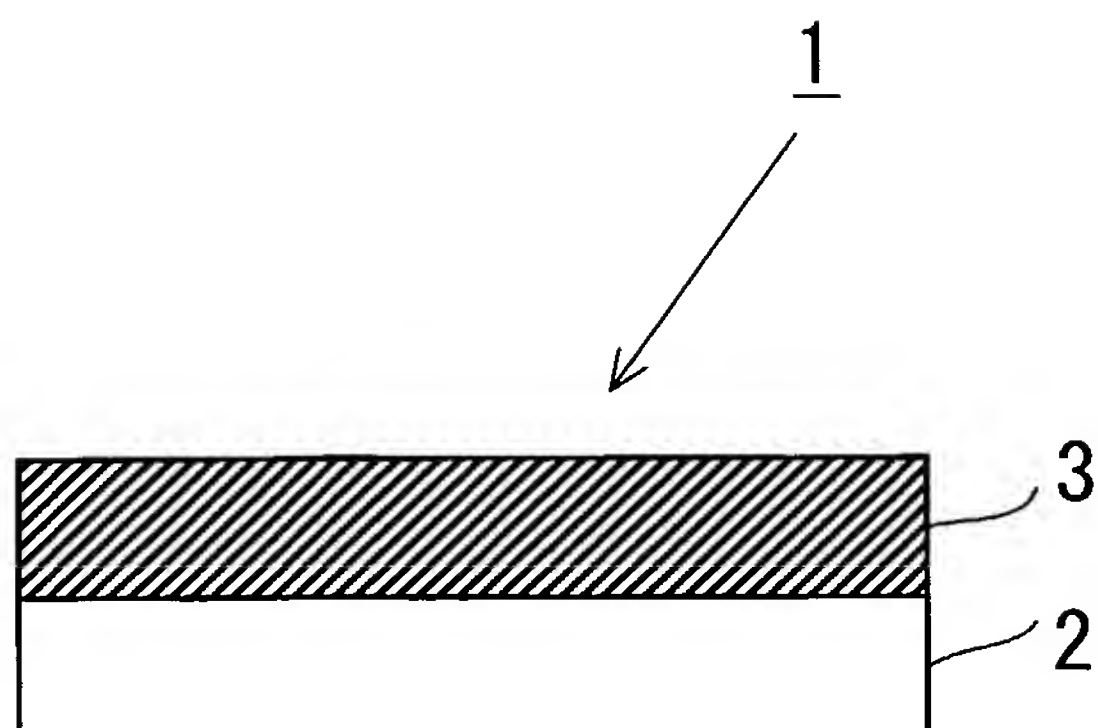


図 2

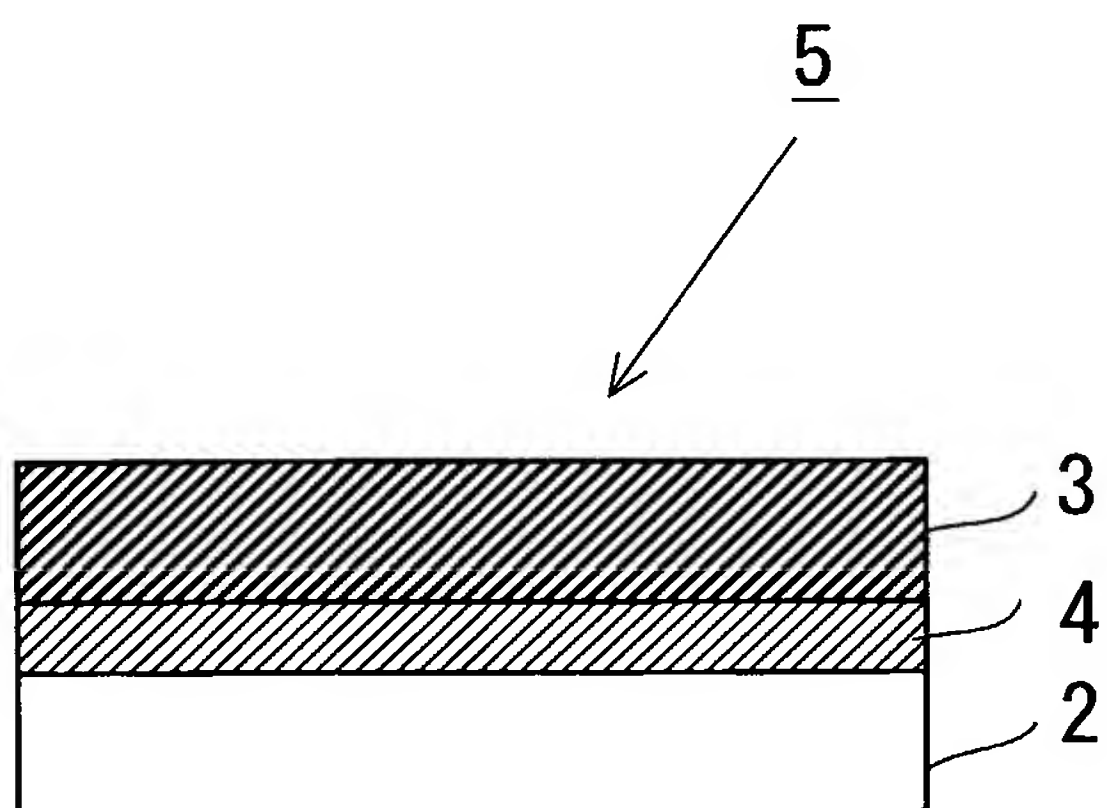


図 3

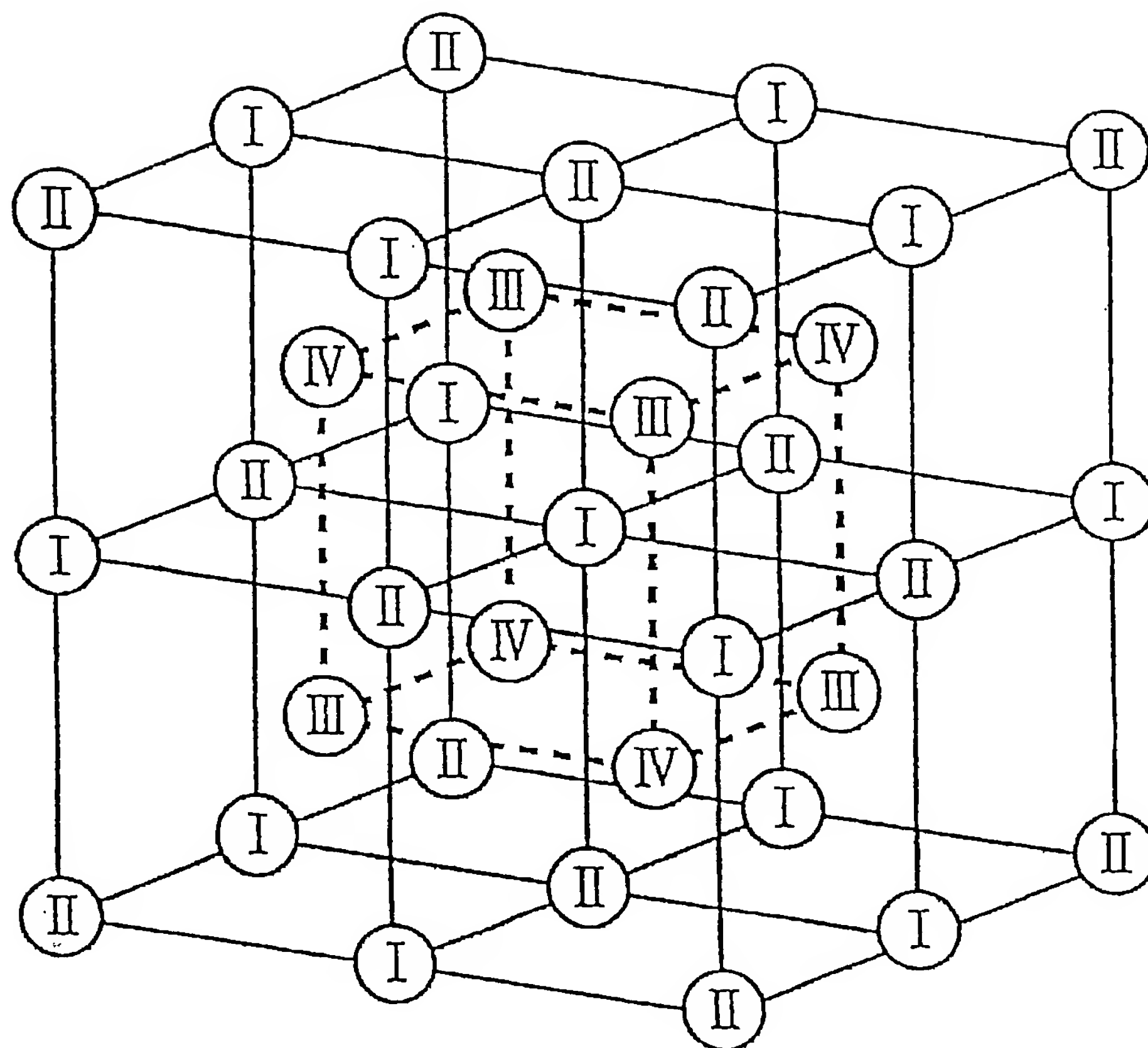


図 4

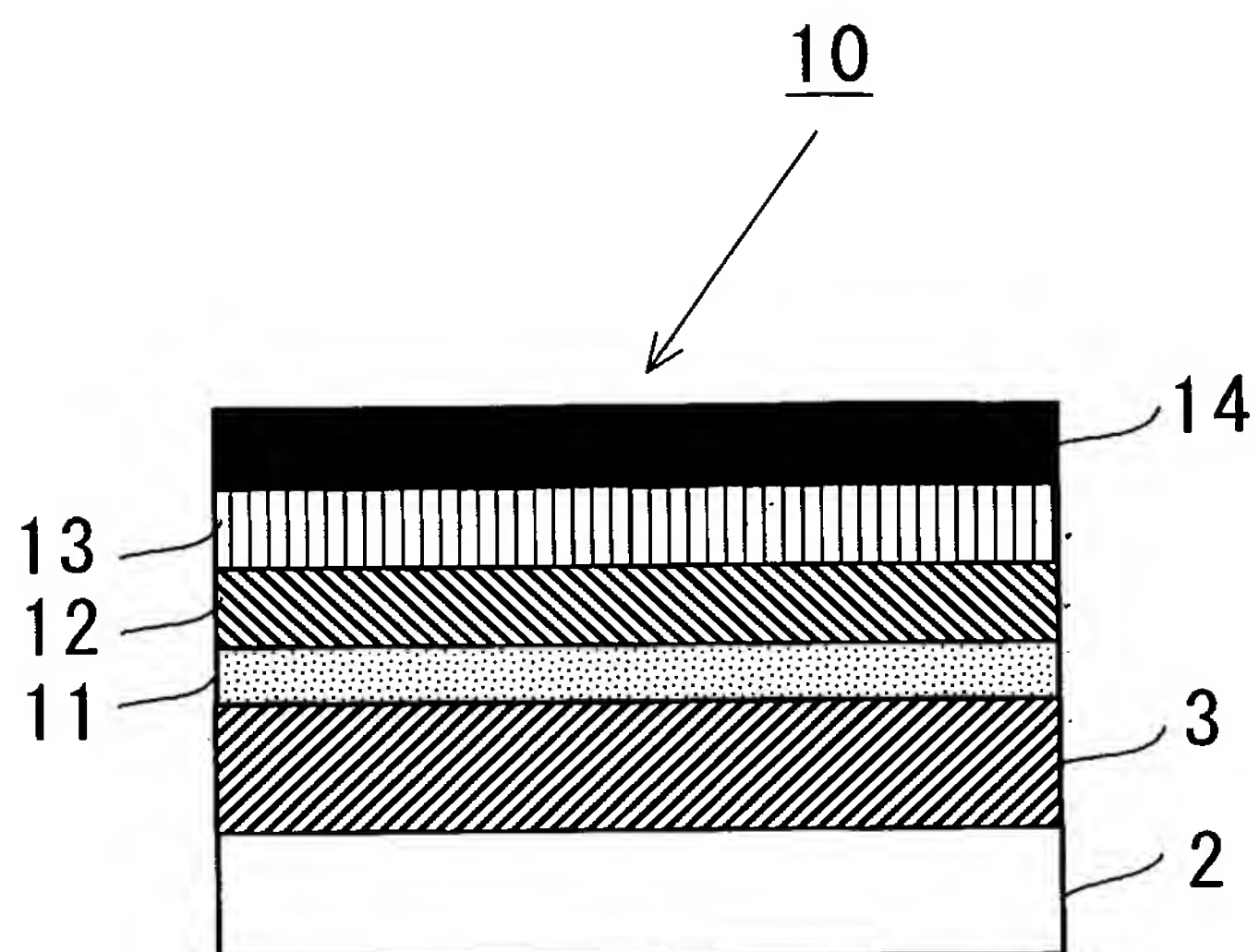


図 5

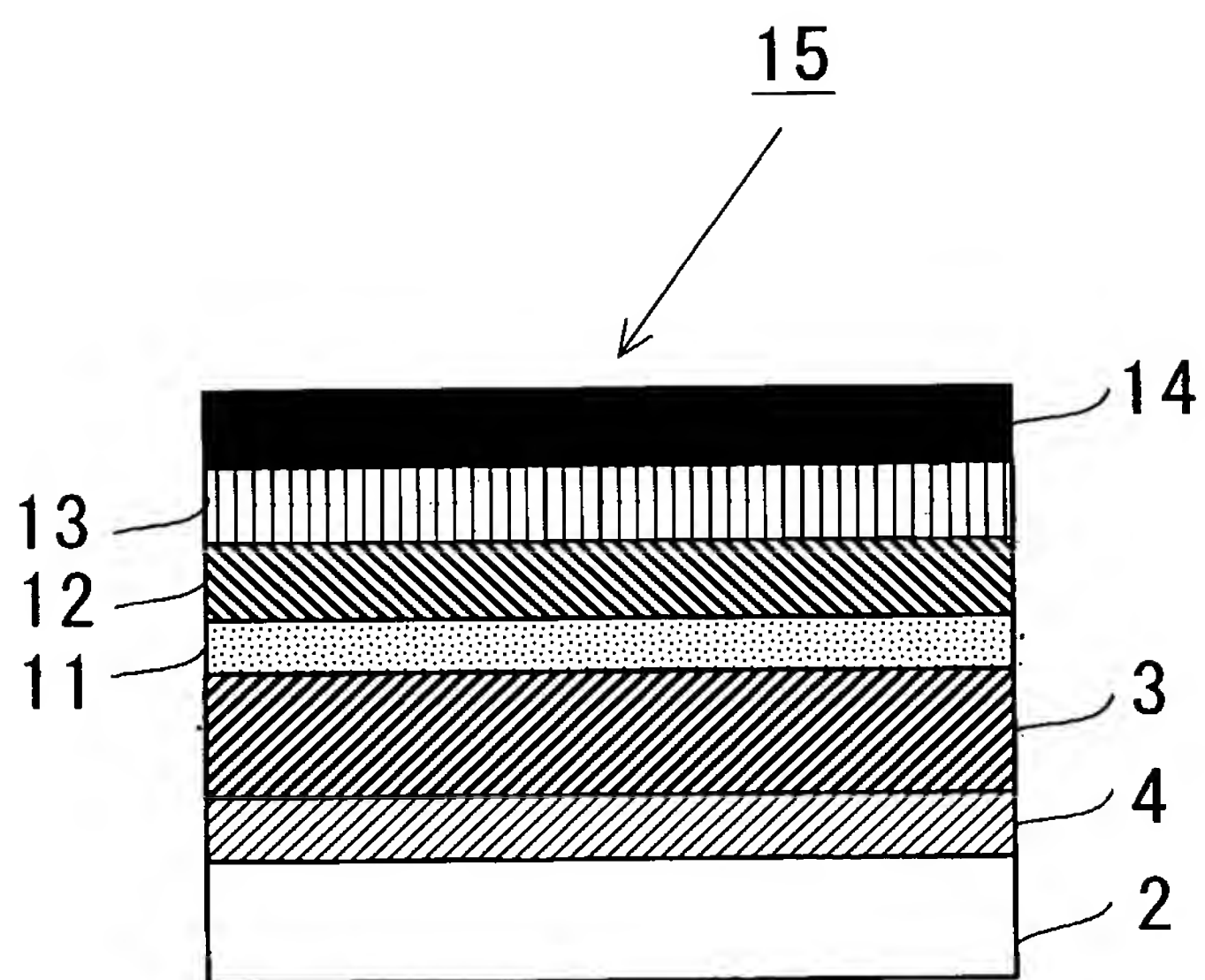


図 6

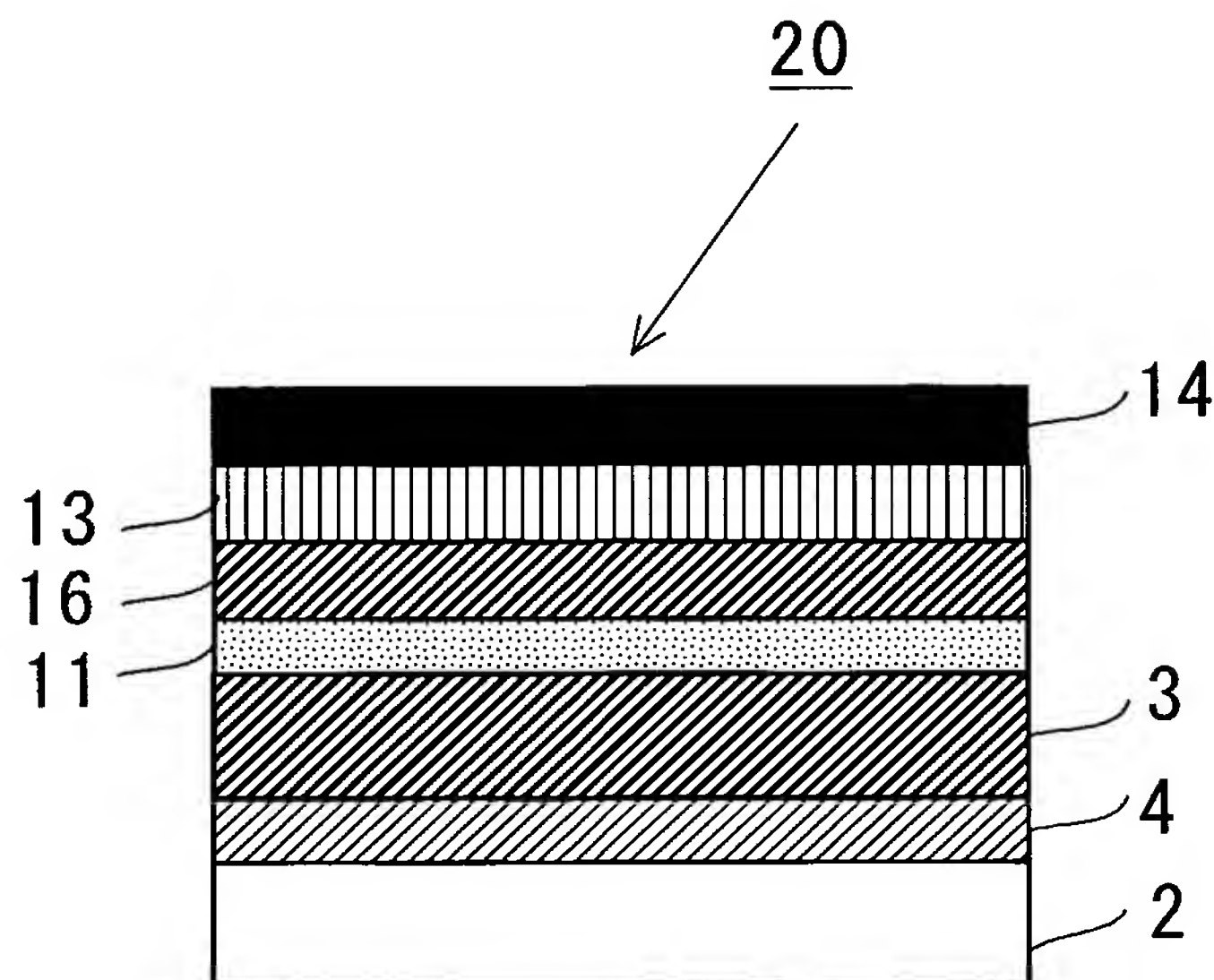


図 7

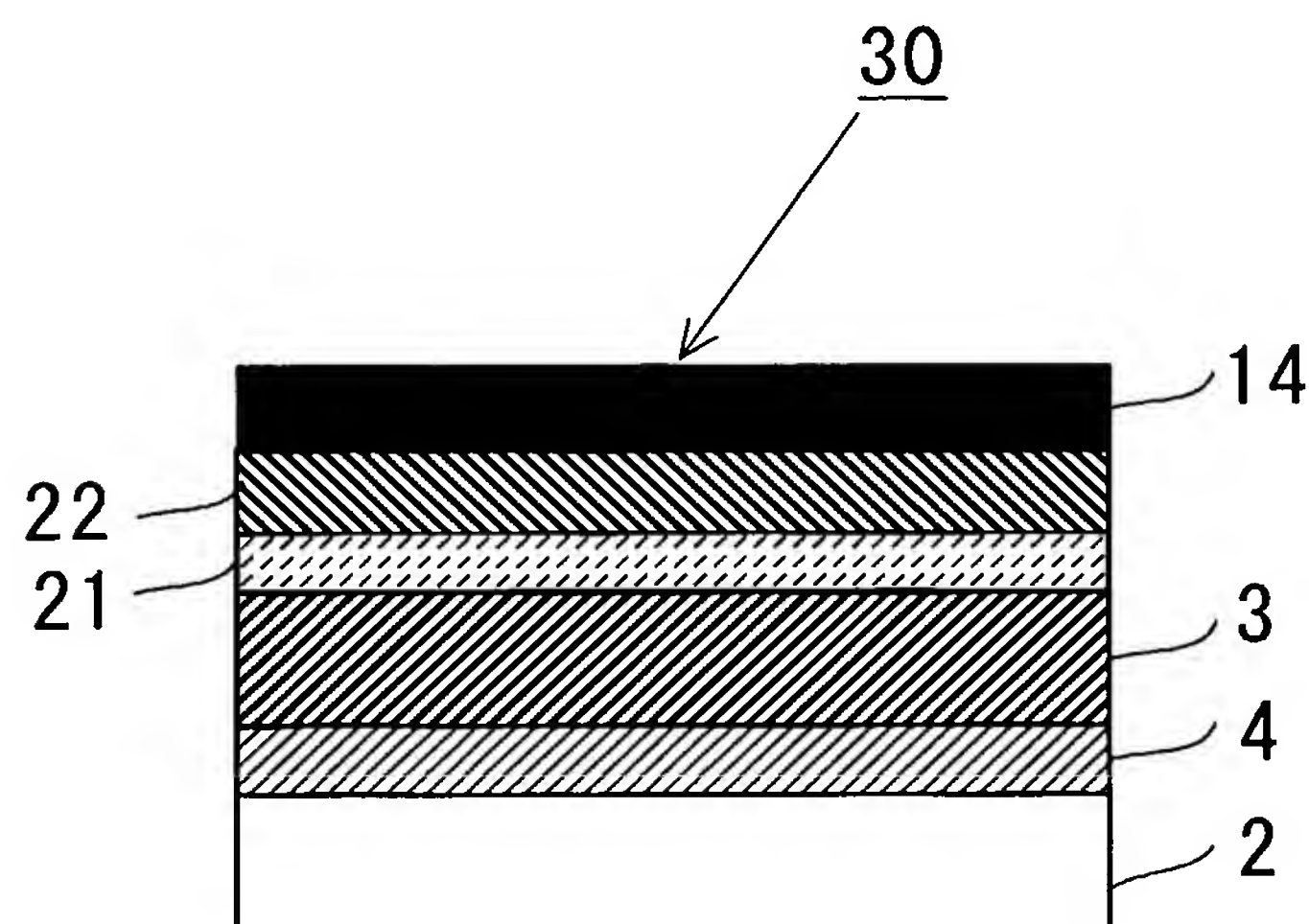


図 8

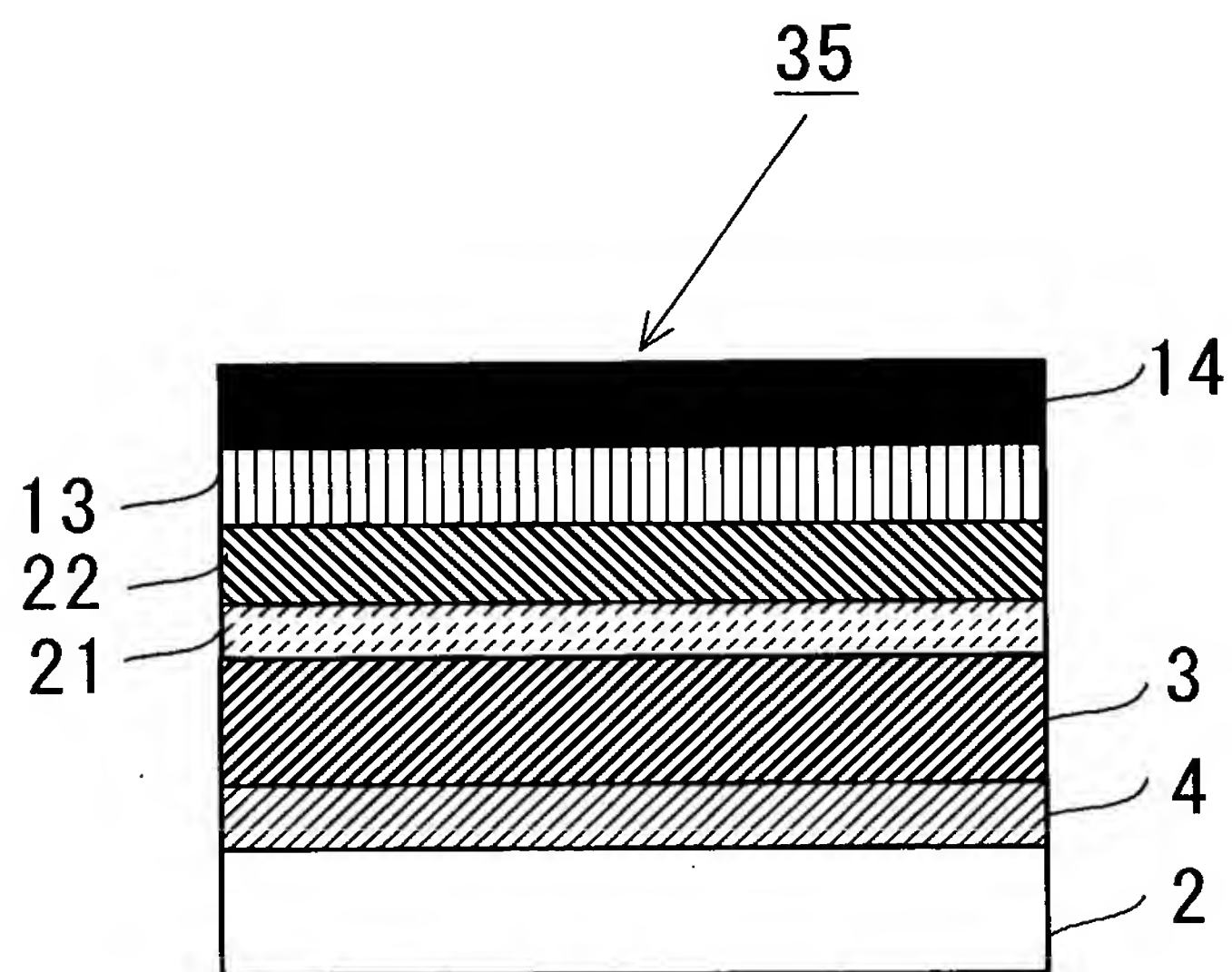


図 9

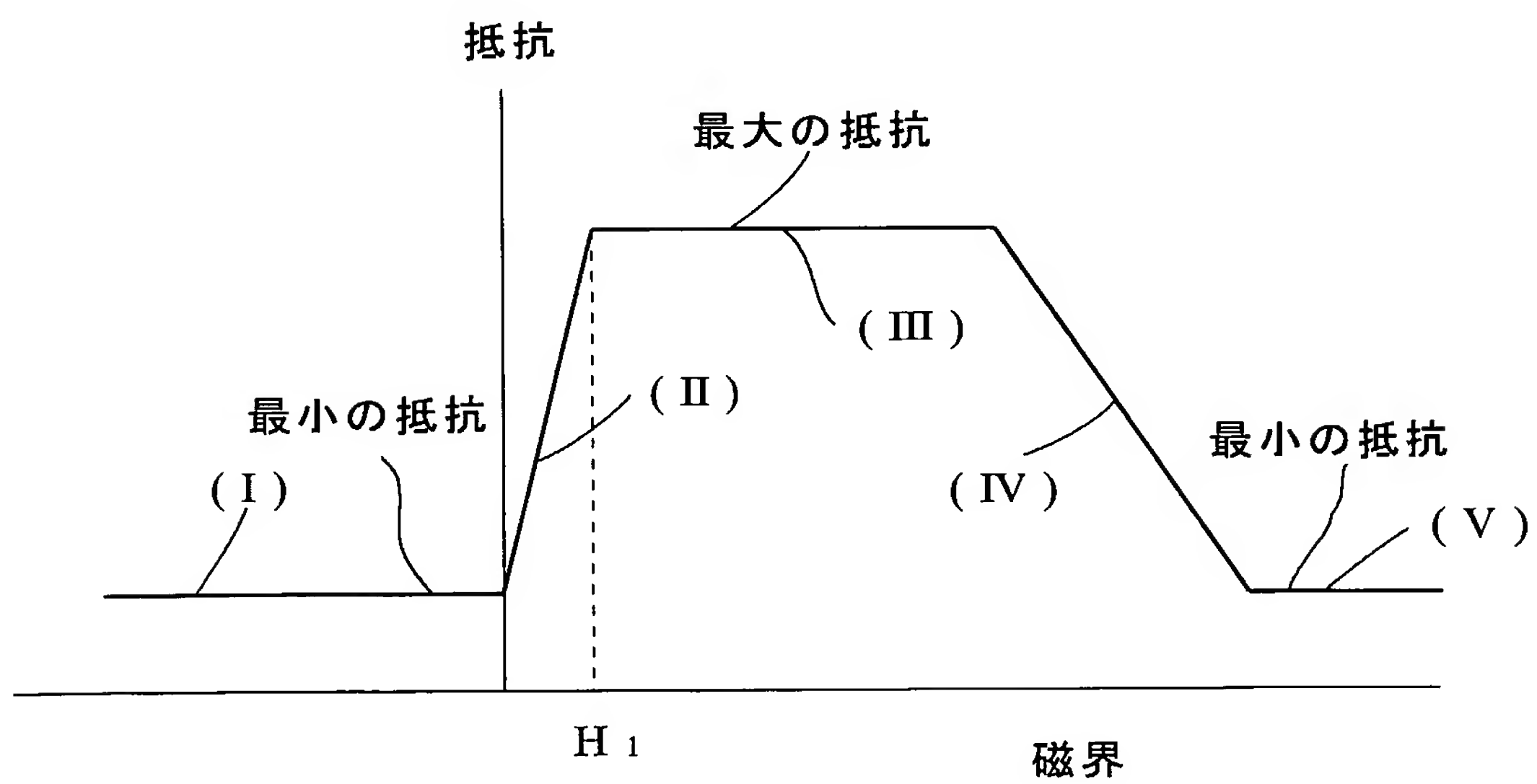




図 10

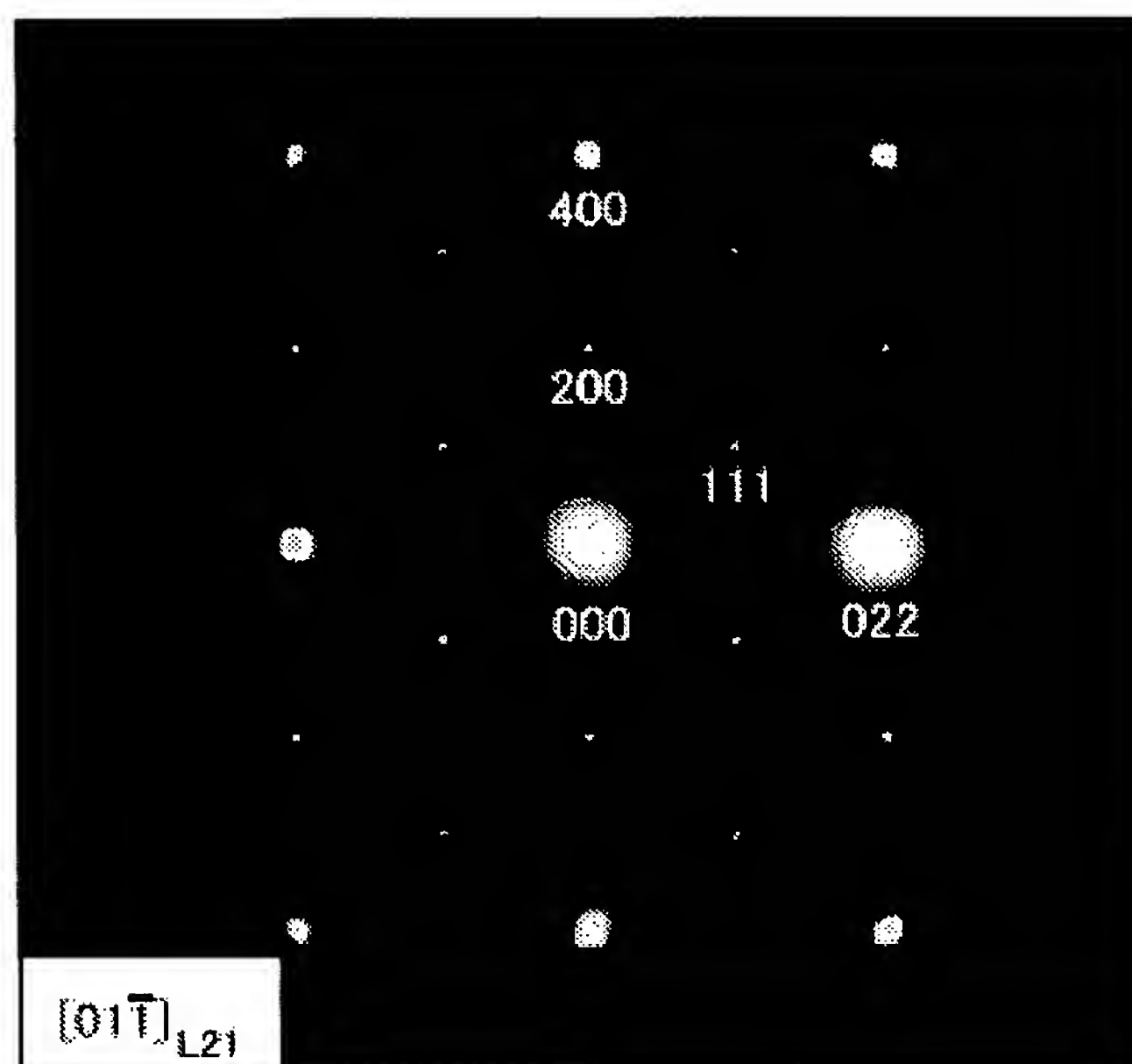


図 1 1

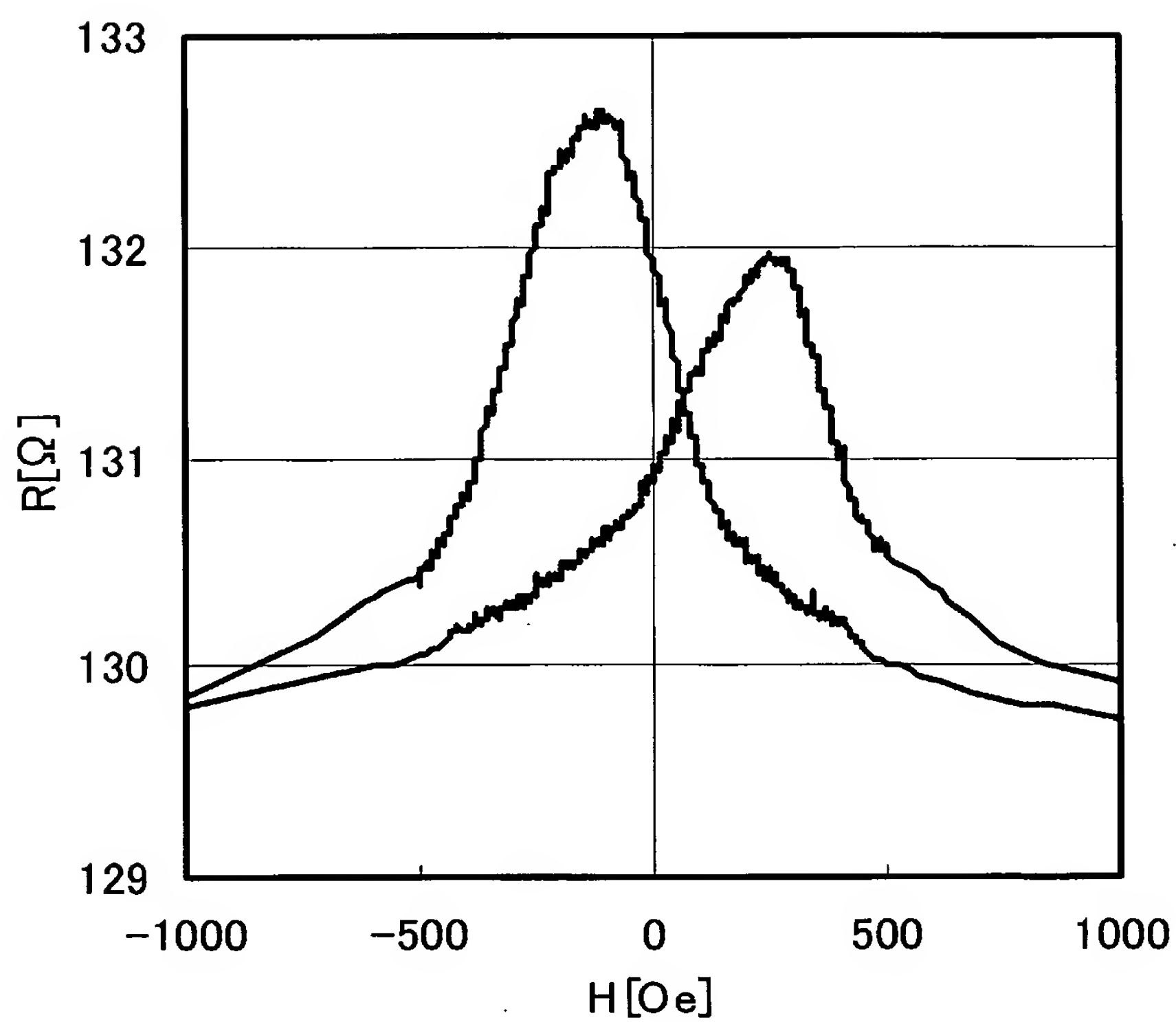
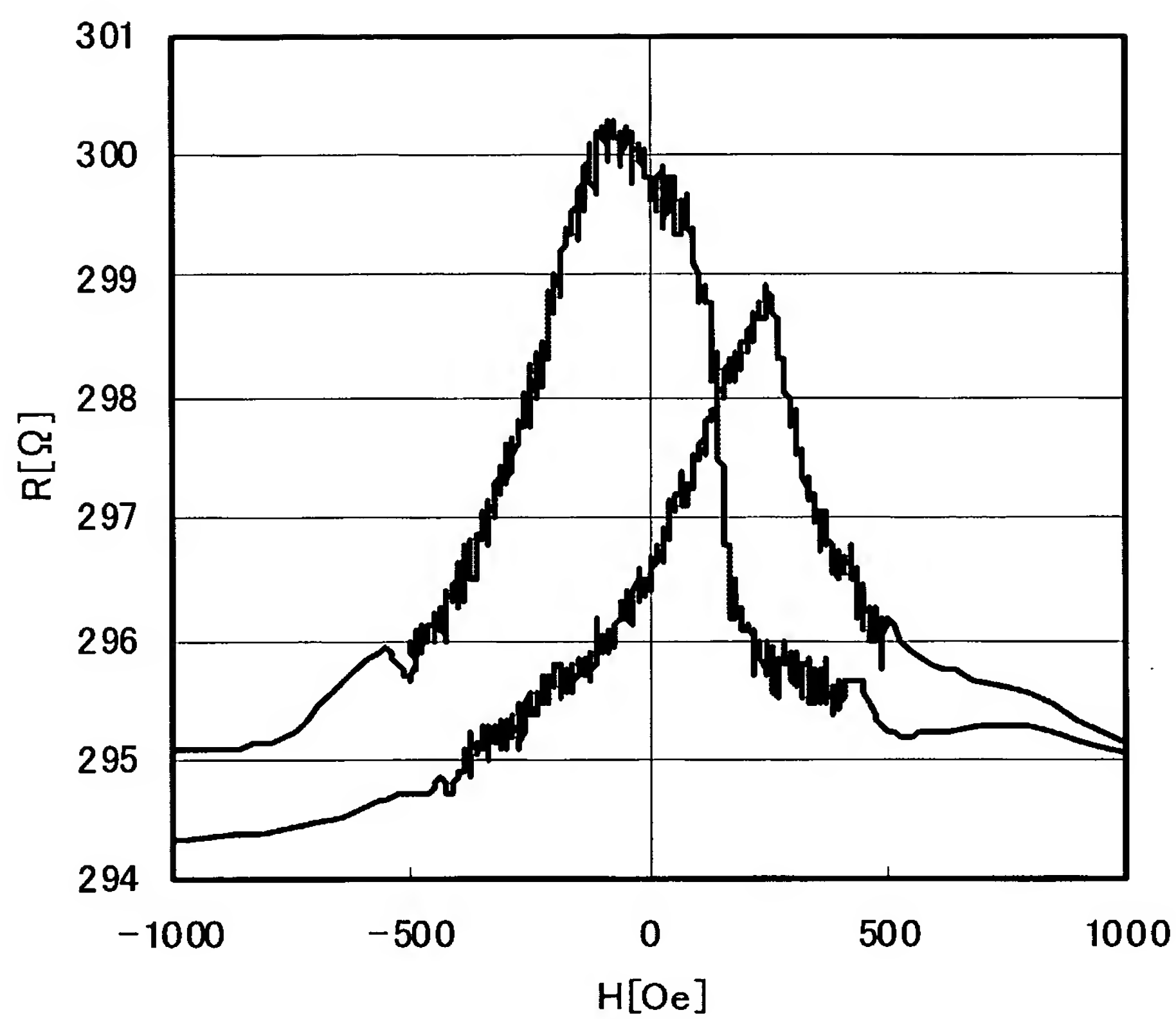


図 1 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002185

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01F10/16, G11B5/39, H01F10/32, H01F41/22, H1L27/105,  
H01L43/08, H01L43/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01F10/16, G11B5/39, H01F10/32, H01F41/22, H1L27/105,  
H01L43/08, H01L43/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2005 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2005 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2005 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | JP 08-250366 A (Toshiba Corp.),<br>27 September, 1996 (27.09.96),<br>Full text; all drawings<br>(Family: none)                       | 1-34                  |
| Y         | JP 2003-218428 A (Alps Electric Co., Ltd.),<br>31 July, 2003 (31.07.03),<br>Par. Nos. [0069] to [0070]; Fig. 2<br>& US 2003-137785 A | 1-34                  |
| Y         | JP 07-147437 A (Toshiba Corp.),<br>06 June, 1995 (06.06.95),<br>Full text<br>(Family: none)  | 4, 11, 18, 25,<br>32  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T”

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X”

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y”

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;”

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 April, 2005 (25.04.05)

Date of mailing of the international search report

17 May, 2005 (17.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002185

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                               | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | JP 2003-277926 A (Samsung Electronics Co., Ltd.),<br>02 October, 2003 (02.10.03),<br>Full text<br>(Family: none) | 1-34                  |



|  |  |                  |
|--|--|------------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))<br>Int.Cl. <sup>7</sup> H01F10/16, G11B5/39, H01F10/32, H01F41/22<br>H01L27/105, H01L43/08, H01L43/10  |  |                  |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))<br>Int.Cl. <sup>7</sup> H01F10/16, G11B5/39, H01F10/32, H01F41/22<br>H01L27/105, H01L43/08, H01L43/10  |  |                  |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br>日本国実用新案公報 1922-1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971-2005年<br>日本国実用新案登録公報 1996-2005年<br>日本国登録実用新案公報 1994-2005年   |  |                  |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  |  |                  |
| C. 関連すると認められる文献  |  |                  |
| 引用文献の<br>カテゴリー*  | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| Y  | JP 08-250366 A (株式会社東芝)<br>1996.09.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)                                | 1-34             |
| Y  | JP 2003-218428 A (アルプス電気株式会社)<br>2003.07.31, 段落【0069】-【0070】, 図2<br>& US 2003-137785 A | 1-34             |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。  |  |                  |
| * 引用文献のカテゴリー<br>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)<br>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願<br>の日の後に公表された文献<br>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>「&」同一パテントファミリー文献 |  |                  |
| 国際調査を完了した日<br>25.04.2005   | 国際調査報告の発送日<br>17.5.2005  |                  |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁 (ISA/JP)<br>郵便番号100-8915<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号   | 特許庁審査官 (権限のある職員)<br>菊地 聖子<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3565                                 | 5R 3142          |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |  |                            |
|-----------------------|--|----------------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号           |
| Y                     | J P 0 7 - 1 4 7 4 3 7 A (株式会社東芝)<br>1 9 9 5 . 0 6 . 0 6 , 全文 (ファミリーなし)       | 4、1 1, 1<br>8, 2 5, 3<br>2 |
| A                     | J P 2 0 0 3 - 2 7 7 9 2 6 A (三星電子株式会社)<br>2 0 0 3 . 1 0 . 0 2 , 全文 (ファミリーなし) | 1 - 3 4                    |